



*Fotografías Wilson Celis Ariza
Licenciado en Biología.
Especialista en enseñanza de la Biología UPN*

UNA CARACTERIZACIÓN SEMANTICISTA DE LOS MODELOS CIENTÍFICOS PARA LA CIENCIA ESCOLAR

A SEMANTICIST CHARACTERISATION OF SCIENTIFIC MODELS FOR SCHOOL SCIENCE

Fecha de recepción: 28 de septiembre de 2014
Fecha de aprobación: 19 de noviembre de 2014

Agustín Adúriz-Bravo¹
Yefrin Ariza²

RESUMEN

En la didáctica de las ciencias, los análisis sobre lo que podría ser (y no ser) un modelo científico y sobre la importancia de vincular los modelos con las líneas de investigación de la disciplina vienen cobrando mayor relevancia en los últimos años. Hemos dado algunos pasos iniciales en la línea de esa vinculación; sin embargo, creemos que resulta interesante retomar las discusiones acerca de la naturaleza de los modelos partiendo de una perspectiva epistémica que nos permita seguir avanzando en la elucidación de sus características principales y en la identificación de aquellas más relevantes para la enseñanza de las ciencias y para la formación del profesorado de ciencias. Nuestra perspectiva de trabajo nos ubica en la escuela de la epistemología contemporánea conocida como “concepción semanticista” (dentro de la corriente representacional o modelística), escuela que constituye uno de los enfoques más fructíferos de las últimas décadas para el análisis epistemológico de la ciencia, y que recientemente ha concitado la atención de los investigadores en didáctica de las ciencias.

Palabras Clave:

Modelo científico, características epistemológicas, escuela semanticista, modelización.

ABSTRACT

In didactics of science (i.e. science education as a discipline), analyses of what could (and could not) be a scientific model and of the importance of connecting models with research in the discipline are gaining in importance in recent years. We have taken some initial steps along the line of such connection; however, we think it is interesting to return to discussions about the nature of models from an epistemic perspective, which would allow us to move forward in the elucidation of their key features and to identify those that are most relevant for science teaching and for science teacher education. Our perspective places us in the school of contemporary philosophy of science known as ‘semanticist view’ (within the representational or model-based line), one of the most fruitful schools in recent years among philosophical analyses of science. Such school has recently caught the attention of researchers in didactics of science.

Keywords:

Scientific model, epistemological features, semanticist school, modelling.

- 1 CONICET/GEHyD-Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales, CeFIEC-Instituto de Investigaciones Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Argentina. Correo electrónico: aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar
- 2 Becario CONICET/GEHyD-Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales, CeFIEC-Instituto de Investigaciones Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias, Universidad de Buenos Aires. Programa de Investigación en Filosofía e Historia de la Ciencia, Universidad Nacional de Quilmes. Universidad Nacional de Tres de Febrero. Argentina. Correo electrónico: angelyefrin@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Desde hace aproximadamente medio siglo, los análisis *metacientíficos* (i.e. los estudios epistemológicos, históricos y sociológicos sobre las ciencias) nos han llevado a entender la empresa científica (sus productos, su estructura, su validez, sus procesos, sus cambios en el tiempo, sus relaciones con la sociedad, etc.) de formas cada vez más cercanas a la actividad real de los científicos. Es probable que una de las razones principales para que hayamos llegado a capturar mejor la práctica científica y los productos que de ella se derivan sea el cambio en la perspectiva desde la cual se realizan tales análisis metacientíficos. Nos referimos a la actual preferencia por estudiar y entender las teorías científicas a través de sus modelos, por sobre el abordaje tradicional a través de mirar sus leyes. Una forma usual de presentar este cambio de perspectiva analítica es acudiendo a los aspectos o dimensiones del lenguaje en tanto signo: se trataría de un movimiento desde el análisis sintáctico de las teorías (el análisis de su forma) hacia el análisis *semántico* (de su significado).

La preferencia que estamos identificando por los análisis *modelísticos* o *modeloteóricos* se ha ido trasladando a la didáctica de las ciencias a partir de las vinculaciones de nuestra disciplina con la epistemología, vinculaciones que han ido constituyendo, desde fines del siglo pasado, un área de investigación didáctica emergente y pujante que se conoce usualmente como “HPS” (por “history, philosophy, and science teaching”; cf. Matthews 2014). En la actualidad, la comunidad de didactas de las ciencias recurre casi siempre de manera *explícita* a la noción de modelo para enfocarse en un constructo *indispensable* cuando se pretende entender y enseñar la ciencia (Nersessian 1992, 1995; Clement 2000; Gilbert & Boulter 2000; Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo 2003; Greca & Moreira 2002; Heywood 2002; Coll & Taylor 2005; Chamizo 2007); además, ya no reduce la ciencia a las formulaciones lingüísticas de las *leyes* y al establecimiento de reglas de *correspondencia* entre ellas y el mundo empírico, como era usual hacer desde la epistemología de corte positivista lógico de la primera mitad del siglo XX.

A esta tendencia de “actualización” metacientífica de la didáctica de las ciencias se oponen algunas dificultades que aparecen cuando se pretende incorporar conceptos o constructos altamente técnicos de una disciplina como la epistemología (Ariza *et al.* 2010). Para el caso de los modelos, el propio significado de la noción es problemático en las metaciencias, y esta problematicidad se traslada a la didáctica de las ciencias (Halloun 2004, 2007). El carácter *polisémico* o *ambiguo* de la idea de modelo está presente incluso dentro de la actividad científica en las distintas dis-

ciplinas (cf. Suppes 1961; Bailer-Jones 1999; Adúriz-Bravo 2011), lo que constituye un obstáculo para abordar de forma más efectiva los modelos dentro de las propuestas actuales de enseñanza de las ciencias.

Una manera que encontramos potente para incluir esta noción “metateórica” en la didáctica es caracterizarla partiendo de sus rasgos epistemológicos. Además de hacer manifiesta nuestra intención de acudir a una fundamentación epistemológica apoyada en la actual *escuela semanticista* para analizar la noción de modelo, consideramos apropiado abordar esta discusión estableciendo que nuestro análisis toma como “objeto de trabajo” los modelos construidos en la actividad científica de disciplinas *empíricas*, como la química, la física, la biología, la psicología, la economía, la sociología, etc.³ El análisis que llevaremos adelante es *epistémico*⁴ (cf. Sensevy *et al.* 2008), en el sentido de acudir a la epistemología de los productos científicos para intentar entender la naturaleza, construcción y utilización de los *modelos científicos*.

LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS Y LA INVESTIGACIÓN SOBRE MODELOS

Ya tenemos aproximadamente quince años de introducción explícita del tratamiento “modelístico” de las teorías científicas en la enseñanza de las ciencias (cf. Gilbert & Boulter 2000: caps. 1 y 2; Justi & Gilbert 2002). La producción académica que hace uso de la noción de modelo se viene multiplicando en las revistas de mayor difusión en nuestra disciplina (e.g. *Ciência & Educação*, *Enseñanza de las Ciencias*, *International Journal of Science Education*, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, *Science & Education*, *Science Education*, etc.), estableciendo formas de entender los modelos en la enseñanza que –con mayor o menor conciencia por parte de los didactas– recurren a aportaciones epistemológicas vigentes que podríamos llamar “modeloteóricas” (en inglés, “model-based”) (Grandy 2003; Koponen 2007; Adúriz-Bravo 2010; Oh & Oh 2011). Todo ello empieza a constituir una incipiente didáctica modeloteórica de las ciencias (Develaki 2007; Adúriz-Bravo 2010, 2011, 2013; Ariza 2014).

3 Si bien algunos trabajos sugieren que la noción de modelo es similar para estas ciencias empíricas y para la matemática (cf. Falguera 1994), nuestro trabajo pretende restringirse al estudio de los modelos provenientes solo de teorías empíricas (por ejemplo, los modelos identificados/definidos por la mecánica newtoniana, la ley de los gases ideales, la teoría del enlace de Lewis, etc.).

4 El análisis sobre los modelos puede ser de otros tipos, por ejemplo: análisis “lógico”, “lingüístico” o “cognitivo”. Nuestra perspectiva se restringirá al análisis epistémico.

Este acercamiento es ciertamente novedoso si tenemos en cuenta que las referencias epistemológicas en la investigación didáctica se circunscribieron por mucho tiempo a concepciones “clásicas” (de la primera mitad del siglo pasado) o, en algunos casos más alentadores, a la escuela conocida como “nueva filosofía de la ciencia” (Ariza & Adúriz-Bravo 2012). En efecto, aún estamos en etapas tempranas de vinculación con la epistemología reciente y actual. Si bien la cantidad de autores y trabajos va creciendo, tenemos pendientes discusiones alrededor de algunos aspectos básicos de la naturaleza de los modelos, discusiones que han sido relegadas a un segundo plano (cf. Joshua & Dupin 2005: 18-19; Koponen 2007; Adúriz-Bravo 2013). Por tanto, creemos necesario retomar los análisis de los fundamentos epistemológicos que subyacen a la noción de modelo científico para intentar responder a cuestiones como qué son los modelos y por qué se los necesita en la enseñanza de las ciencias (cf. Grandy 2003). Las respuestas a estos cuestionamientos podrían (o más bien deberían, en caso de acudir al análisis epistémico) ser abordadas en conjunto con la pregunta acerca de cuáles concepciones de modelo científico –de las muchas disponibles en la epistemología– se nos aparecen hoy en día como las más adecuadas para la didáctica de las ciencias.

Si revisamos la historia de la epistemología, encontraremos en ella una extensa lista de epistemólogos/as y una multiplicidad de corrientes y escuelas que han hecho análisis alrededor de los modelos científicos; tales análisis son muy diversos, y en algunos casos hasta contrapuestos (cf. Adúriz-Bravo 2011). Tras revisar la variedad de posturas existentes, nosotros hemos preferido posicionarnos –haciéndonos eco de muchos autores tanto de la epistemología como de la didáctica de las ciencias contemporáneas– en la escuela semanticista reciente.

En la siguiente sección presentaremos un esbozo general del abordaje semanticista de la noción de modelo, el cual nos permitirá ubicar y clarificar nuestra perspectiva epistemológica. Luego enumeraremos características epistémicas de los modelos que emergen de esa perspectiva. Por último, intentaremos contribuir a la “actualización epistemológica” del profesorado de ciencias describiendo el enfoque del epistemólogo estadounidense Ronald Giere (n. 1938); haremos una presentación general de su propuesta teórica y propondremos una esquematización que recoja los aspectos fundamentales de su forma de entender las teorías científicas.

Creemos que la implementación de este “artilugio didáctico” puede ser útil porque:

1. “Aterriza” nuestra discusión sobre los modelos en una propuesta concreta, la de Ronald Giere. Entre los enfo-

ques semanticistas contemporáneos, el sostenido por este autor es probablemente el de mayor difusión en el ámbito de la didáctica de las ciencias.

2. Hace uso de términos semitécnicos sencillos, que facilitan el abordaje por parte de los/as profesores/as de ciencias, pero al mismo tiempo respetan la rigurosidad de las ideas de Giere.

3. Permite identificar una perspectiva epistémica específica, desde la cual es posible iniciar discusiones afinadas acerca del papel de las teorías, los modelos y las leyes o de las relaciones teoría-modelo-mundo, tanto en la formación inicial y continuada del profesorado de ciencias como en el ámbito de la investigación didáctica.

4. Constituye un esfuerzo por llevar contenidos novedosos de la epistemología de corte semanticista al ámbito de la didáctica de las ciencias. En este sentido, puede interpretarse como una “actividad transpositiva” cuyo objeto de transposición son los contenidos provenientes de la epistemología reciente.

LOS MODELOS EN LA CONCEPCIÓN SEMANTICISTA

En la primera sección de este trabajo hablamos de un cambio en torno a los análisis sobre la ciencia, que pasa por el movimiento desde los análisis sintácticos hacia los semánticos sobre las teorías científicas. Este cambio, que podríamos ubicar en la década del '70 (cf. Moulines 2011), supone un alejamiento de los abordajes “analíticos” que se venían haciendo hasta entonces, aceptando las enormes dificultades de capturar todas las características de las teorías científicas mediante exámenes logicistas “duros”. Las emergentes perspectivas modelísticas también reconocen que los instrumentos formales que emplearon las distintas corrientes “positivistas” desde fines del siglo XIX habían resultado demasiado elementales, lo que llevó a la necesidad de

Utilizarse instrumentos lógico-matemáticos “fuertes” (teoría de conjuntos, topología, teoría de modelos, lógicas modales [...]) para dar cuenta de aquello que es esencial en [la estructura de las] teorías. (Moulines 2011: 110; las llaves son nuestras)

Así, tras más de dos décadas de trabajo de la llamada “concepción heredada” (escuela de posguerra heredera del positivismo lógico del Círculo de Viena), se empezó a ver que su formalismo para entender las teorías es

demasiado simple [...], su enorme superficialidad hace que sea posible omitir propiedades importantes de las teorías y distinciones significativas [...] entre diferentes teorías. (Suppes 1967: 57; la traducción y las llaves son nuestras)

La noción de modelo ha sido utilizada tanto en los análisis clásicos sobre las teorías –i.e. Círculo de Viena (Carnap, Nagel, Braithwaite, etc.) y sus interlocutores (p.e. Karl Popper)– como en aquellos realizados por la escuela “historicista” (Kuhn, Lakatos, Toulmin, etc.); sin embargo, esa noción es esencialmente semántica. Por tanto, no es de extrañar que el semanticismo sea el movimiento epistemológico que ha intentado acometer con mayor profundidad y extensión el tratamiento de las teorías en términos de sus modelos. La concepción semanticista ha realizado análisis detallados acerca de asuntos como los siguientes:

1. Los diversos usos y caracterizaciones de la noción de modelo (e.g. Suppes 1961; Achinstein 1968; Falguera 1994; Bailer-Jones 1999).
2. El papel de los modelos en la identidad de las teorías (e.g. Suppes 1961; Balzer *et al.* 1987; van Fraassen 1980, 1989).
3. Su “función” representacional, analógica y mediadora entre las teorías y el mundo (e.g. Hesse 1966; Giere 1992; Morrison 1998; Morrison & Morgan 1999; Bailer-Jones 2003; Lombardi 2010).
4. Su estructura particular y el lugar que ocupan dentro de las teorías científicas (e.g. Suppe 1974; Balzer *et al.* 1987)⁵.
5. La pertinencia de identificar tipologías de modelos (e.g. Balzer *et al.* 1987; Cartwright 1983, 1999).
6. La relación de los modelos científicos con las teorías, las leyes, los sistemas y los fenómenos (e.g. Suppe 1974; van Fraassen 1980, 1989; Balzer *et al.* 1987; Giere 1992, 1999).

Todas las nociones de modelo de la segunda mitad del siglo XX (expresadas ya en términos semiformales, con ayuda de la teoría de conjuntos o los espacios de fase, ya de manera informal, acudiendo a las ciencias cognitivas) pueden ser emparentadas entre sí si se acepta –como se

hace en el abordaje “basado en modelos”– que ellos son representaciones parciales e idealizadas del mundo (Moulines 2011) que nos ayudan a razonar sobre los fenómenos (cf. Grandy & Duschl 2007), constituyendo una parte esencial de la identidad de las teorías. Este papel representacional, que sitúa a los modelos científicos entre teoría y mundo, constituye una de sus características fundamentales, que es necesario recuperar cuando se pretende introducirlos en las aulas de ciencias.

En palabras del epistemólogo estadounidense Frederick Suppe,

es evidente que los enfoques semánticos para analizar las teorías constituyen una alternativa válida al de la concepción heredada y al de los análisis weltanschauungísticos, que se quedan en la mera formulación lingüística. (Suppe 1979: 264)

Desde los trabajos pioneros de Patrick Suppes de finales de los años '50 e inicios de los '60 y su consolidación – como ya se mencionó– en los '70, esta tradición de interpretación de las teorías en términos de modelos tiene repercusiones y seguidores hasta el día de hoy (Bailer-Jones 1999). Dentro de ella es posible identificar al menos cuatro propuestas de gran difusión dentro de la epistemología contemporánea; estamos haciendo referencia a las propuestas de Ronald Giere, Bas van Fraassen, Frederick Suppe y el estructuralismo metateórico, las cuales constituyen la que se puede denominar “familia semanticista” (Diederich 1996; Lorenzano 2003). La idea de la existencia de esta familia metateórica descansa sobre la presuposición de que es posible identificar coincidencias en los aspectos más generales de aquellas cuatro propuestas y algunas otras más. A continuación presentamos de manera breve esos aspectos coincidentes:

1. Los modelos son estructuras que constituyen el componente más elemental para la identidad de una teoría; tales estructuras se organizan en clases, conjuntos, poblaciones, colecciones o familias.
2. Una teoría científica determina sus modelos para dar cuenta de datos, fenómenos o experiencias que hacen parte de ciertos “trozos del mundo”. Parte de la identificación de la teoría consiste entonces en la identificación de esos fenómenos empíricos de los que ella pretende dar cuenta.
3. Los modelos que determina una teoría cumplen (pretendidamente) de forma adecuada un papel representacional sobre aquellos trozos del mundo. Esta pretensión se hace explícita mediante un acto lingüístico, es decir, mediante una afirmación: la

5 Algunos autores (e.g. Cartwright 1999) señalan que los modelos serían “independientes” respecto de las teorías, en el sentido de que “los modelos, y no las teorías, son los portadores del conocimiento acerca del mundo empírico” (Bailer-Jones 2008: 17; cursivas en el original, la traducción es nuestra).

aserción empírica de la teoría, que afirma que entre esos trozos del mundo y los modelos determinados por las leyes de la teoría existe cierta relación específica. Esa relación mostraría que los modelos se aplican bien a los sistemas que pretenden explicar.

Si bien estos aspectos son compartidos por todos los integrantes de la familia semanticista, cada uno de esos integrantes los desarrolla de una forma particular, constituyendo los distintos “enfoques semanticistas” (Ariza 2014). Por ejemplo, aun cuando todos los enfoques coincidan en que “identificar una teoría es identificar la clase de sus modelos”, las maneras en las que entienden o caracterizan los modelos pueden tener diferencias (en algunos casos, no muy salientes y en otros, muy marcadas)⁶.

CARACTERÍSTICAS EPISTEMOLÓGICAS DE LOS MODELOS CIENTÍFICOS

Existen algunos trabajos previos que abordan la naturaleza de los modelos de manera estrictamente epistémica con el fin de incluirlos en la formación del profesorado de ciencias y en la enseñanza de las ciencias en todos los niveles educativos (e.g. Chamizo 2006; Oh & Oh 2011; Adúriz-Bravo 2013); la caracterización que sigue pretende resumir esos trabajos. Los modelos teóricos serían:

1. Modelos a partir de teoría y empiria.
2. Modelos para unas determinadas finalidades y valores.
3. Analogías teóricas respecto de la realidad.
4. Mediadores entre la teoría y la empiria.

Estas “características” epistemológicas son centrales a los modelos y permiten una elucidación sofisticada que se podría trasladar al campo de la didáctica de las ciencias. Nos detendremos brevemente en cada una de ellas.

Modelos-a-partir-de

Resulta natural pensar que los modelos son modelos de algo, algún evento o proceso que nos interesa represen-

tar. En esta aproximación, el elemento lingüístico “de” es ambiguo y puede conferir diversos matices a la noción de modelo, dependiendo de las condiciones pragmáticas (“de uso”). En particular, la preposición “de” cobra distintas significaciones de acuerdo al lugar que ocupan los modelos en el proceso de representación. Así, tendremos:

1. Modelos output: En la expresión “este helicóptero a control remoto es un modelo de un helicóptero”, el modelo (juguete) refiere a la representación que se hace de la “materia prima” (helicóptero real). En este sentido, “modelo” se aplica al punto de llegada (“output”) del proceso: una representación simbólica en forma de réplica.
2. Modelo input: En la expresión “Gala fue muchas veces modelo de Dalí” la palabra “modelo” remite a la “materia prima” que Dalí tomó y representó en sus cuadros. Gala es el punto de partida (“input”) del proceso: un objeto real (persona) que va a ser retratado.

A esta primera distinción podemos intentar superponer la siguiente:

1. Modelo-a-partir-de: En la expresión “Don Quijote de la Mancha es un modelo de caballero andante”, la noción de modelo se refiere a algo concreto (un personaje) que se obtiene a partir de corporizar un “canon genérico” (pautas generales y abstractas que constituyen la figura del caballero).
2. Modelo-para: En la expresión “esta maqueta sirve de modelo del nuevo estadio de fútbol”, “modelo” apunta a las directrices seguidas para producir algo; un objeto simplificado y a escala que funciona a modo de “plano”, proveyendo instrucciones para concretarlo en una construcción más compleja.

Con base en estas disquisiciones, los modelos parecen ser algo más que modelos-de: son modelos-a-partir-de principios teóricos que se concretan en ellos y hechos del mundo que se estilizan y abstraen.

Modelos-para

También resulta de sentido común entender que los modelos científicos son construidos para algo, pero debemos revisar cómo el nexa “para” puede ofrecernos otra distinción importante:

1. “Para”, en su sentido *funcional*, hace referencia al carácter intencional de los modelos; los/as científicos/as los construyen o proponen con el objetivo

⁶ Aunque no es el objeto de este trabajo establecer las diferencias entre los enfoques semanticistas de Giere, van Fraassen, Suppe y la metateoría estructuralista, a modo de ilustración podríamos señalar que, respecto de la definición de “modelo” y la forma de caracterizarlo, las propuestas de Suppe y van Fraassen coincidirían fuertemente, no así en el caso de las propuestas de Giere y el estructuralismo metateórico (cf. Lorenzano 2011; Diederich 1996; Ariza 2014).

de que cumplan ciertas tareas, tales como: describir, explicar, entender, predecir, intervenir, transformar o comunicar la realidad bajo estudio (cf. Oh & Oh 2011).

2. “Para”, en su sentido pragmático, apunta a la necesidad de realizar recortes de la realidad cuando se pretende estudiar un “fenómeno”; para los/as científicos/as, solo algunos aspectos de la realidad son de interés. Por ejemplo, al analizar un cuerpo que llega desde el espacio a la superficie de la Tierra, un químico podría enfocarse en su estructura molecular, mientras que un biólogo podría ocuparse de la identificación de organismos en ese objeto. Las preguntas que los investigadores se hacen, al igual que los modelos contruidos para contestarlas, están impregnados por valores e intenciones vigentes en la ciencia de un lugar y una época.
3. “Para”, en su sentido paradigmático, es un uso introducido en el apartado anterior (oponiéndolo a “a partir de”). Emparenta directamente la idea de modelo con la noción kuhniana de “ejemplar”⁷; así, los modelos científicos serían “ejemplos a seguir” para hacer investigación (cf. Adúriz-Bravo 2013).

Modelos como analogías teóricas de la realidad

Para la familia semanticista, los modelos constituyen un tipo o clase de estructuras que son (pretendidamente) similares a aquello que se quiere representar; es decir, los modelos tienen un carácter “analógico” respecto del mundo: fungen como análogos de la realidad. Cuando los científicos trabajan sobre ciertos trozos del mundo mediante modelos, la introducción de nueva evidencia empírica va permitiendo aumentar el parecido entre los primeros y los segundos. Siguiendo a Giere (1992: 103) los modelos pueden eventualmente convertirse en “ejemplares”, es decir, en modelos-para en el sentido paradigmático, al permitir iluminar nuevos trozos de mundo.

Ahora debemos preguntarnos, ¿en qué sentido son “teóricas” esas analogías? Vale decir, ¿por qué hablamos, desde el semanticismo, de “modelos teóricos”? Recordemos una de las premisas semanticistas generales enunciadas más arriba: una teoría se caracteriza por identificar –a través de principios o leyes– un conjunto de modelos con la pretensión de dar cuenta de ciertos sistemas reales. A su vez, esos sistemas reales sobre los que se va a predicar también son identificados y abstraídos utilizando la teoría.

Entonces, un modelo es teórico porque: 1. está identificado a través de mecanismos teóricos, y 2. su mirada (no neutral) sobre el mundo está atravesada por intenciones y “modos de ver” proyectados sobre la realidad.

Los modelos teóricos son mediadores

De la puntualización anterior podemos derivar otra pregunta: ¿qué relación hay entre las teorías, los modelos y el mundo? De manera general, podemos decir que los modelos son determinados (intencionalmente) por ciertos principios o leyes de la teoría con la intención de que tengan (cierto grado de) parecido con el mundo. Es decir, los modelos mantienen al mismo tiempo una relación de parecido o similitud con el mundo y una relación de dependencia (parcial) con las leyes de la teoría y los recursos simbólicos que se usan para “capturarlos”. Podemos entender entonces los modelos como estructuras “híbridas”, ubicadas a medio camino entre las formulaciones simbólicas (incluyendo, pero sin reducirse a, las formulaciones lingüísticas) de las teorías y el mundo del cual son representaciones análogas. Así, los modelos corporizan la teoría a la vez que ayudan a desarrollarla a partir de datos y a proyectarla sobre el mundo (Schwarz & Gwekwerere 2007; Oh & Oh 2011).

Aunque los enfoques semanticistas han construido marcos metateóricos que tienen, no pocas veces, discordancias radicales (cf. Estany 1993; Díez & Moulines 1999), concuerdan en que no existe una relación directa entre lo que decimos del mundo (proposiciones) y la manera en que ese mundo se nos muestra (fenómenos); mediando en esta relación estarían los modelos. Probablemente, una de las formulaciones más afinadas de esta tesis se encuentre en el “programa estructuralista de las teorías” (cf. Sneed 1971; Stegmüller 1973; Balzer *et al.* 1987).

UNA APROXIMACIÓN AL ENFOQUE SEMANTICISTA DE RONALD GIERE

Entre los cuatro enfoques semanticistas con más predicamento en la epistemología, el sostenido por el filósofo estadounidense Ronald Giere es el de mayor difusión en el ámbito de la didáctica de las ciencias. Este autor denomina a su propuesta “modelo cognitivo de ciencia” (Giere 1992); teniendo en cuenta que la inclusión de esta propuesta cognitiva en el ámbito de la enseñanza de las ciencias ha sido frecuente, nos detendremos un momento en ella.

Explaining science: A cognitive approach, el libro de 1988, es el trabajo en el que Giere –retomando sus estudios previos acerca de la relación semántica entre el mundo

⁷ La escuela semanticista recupera la caracterización de “modelo paradigmático” que hace la nueva filosofía de la ciencia de los años ‘50 y ‘60 (cf. Kuhn 1970).

y las teorías científicas (e.g. Giere 1979)– propone una aproximación cognitiva a la comprensión del conocimiento científico. En ese libro, y en sintonía con la postura semanticista general, Giere identifica las teorías científicas a través de la familia de sus modelos:

La situación de la física nuclear ilustra muy bien la descripción que he hecho de la teoría científica como una familia de modelos. No existe un “modelo Schrodinger” único del núcleo. Por el contrario, hay una familia de modelos cuyos miembros se caracterizan todos por la forma general de la ecuación de Schrodinger, pero difieren en cuanto a los tipos y pormenores de los potenciales de interacción que incluyen. (Giere 1992: 218)

En este sentido, los modelos teóricos se relacionan sustantivamente con dos elementos (Giere 1992: 106-111): el conjunto heterogéneo de recursos expresivos cargados de teoría con los cuales se caracterizan, y los sistemas empíricos de los cuales pretenden dar cuenta, mediante relaciones de semejanza. Los modelos de las teorías son, para Giere, representaciones mentales (internas, abstractas y no lingüísticas) del mundo: “[n]o tienen más realidad que [la] que les confiere la comunidad de físicos” (Giere 1992: 102).

La relación entre la teoría y el mundo o, más precisamente, la relación específica entre los modelos de la teoría y el mundo, es para Giere una relación de “parecido de familia” à la Wittgenstein, que él llama técnicamente “relación de similaridad”. Los modelos estarían conectados entre sí y a la realidad a través de relaciones analógicas de similaridad. Ahora bien, para Giere, las teorías no solo se componen de “familias de modelos”, su otro constituyente fundamental son entidades que permiten establecer el alcance de la relación entre los modelos y los sistemas reales. Tales entidades son entidades lingüísticas, denominadas por él hipótesis teóricas. Una hipótesis teórica es “un enunciado que afirma cierto tipo de relación entre el modelo y un sistema real dado (o una clase de sistemas reales)” (Giere 1992: 104). Es sobre ese enunciado que cabe predicar verdad o falsedad, y no sobre la teoría:

Afirmar que una hipótesis [teórica] es verdadera equivale a afirmar ni más ni menos que un cierto tipo y grado de semejanza existe entre el modelo y el sistema real. Por lo tanto, podemos desentendernos de la verdad [de las teorías] y centrarnos en los pormenores de las semejanzas. (Giere 1992: 105; las llaves son nuestras)

Aunque sería demasiado ambicioso pretender presentar toda la propuesta metateórica de Ronald Giere en un único esquema, creemos que la aproximación que inclui-

mos a continuación captura los elementos esenciales de su teorización, y podría por tanto emplearse en una actualización epistemológica del profesorado de ciencias que involucre abordar la discusión sobre modelos partiendo de una perspectiva epistémica actualizada. La figura 1 recoge lo que hemos llamado el “enfoque semanticista” de Giere⁸.

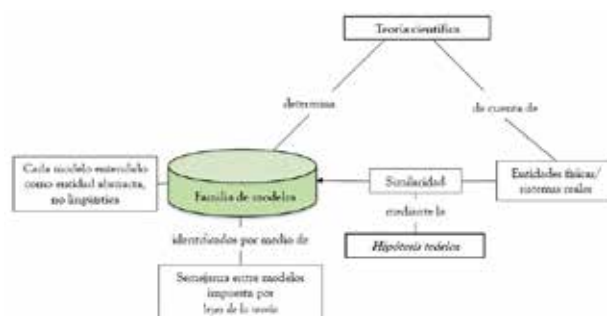


Figura 1. Esquema que captura los elementos centrales del enfoque semanticista de Ronald Giere (Ariza 2014: 40).

REFLEXIONES FINALES

Detenerse en la escuela semanticista para elucidar la naturaleza de los modelos posibilita rescatar su importancia en la caracterización de la parte “aplicativa” de una teoría haciendo consideraciones teóricas refinadas (cf. Díez & Moulines 1999). Reconocemos como un valor central de la familia semanticista el hecho de que retoma la noción de “ejemplar paradigmático” de Kuhn y le superpone el requisito clásico de que los ejemplares puedan ser representados de una manera semiformal análoga y formulados de la manera más general y abstracta posible (Izquierdo-Aymerich 2007). Así, la concepción semántica de las teorías científicas se erige en una auténtica “tercera vía” entre la concepción heredada y la nueva filosofía de la ciencia: recupera, matiza y refina las herramientas más potentes de ambas escuelas para pensar acerca de las teorías científicas en términos de sus modelos (Lorenzano 2001). Esto permite postularla como una candidata idónea para responder a las necesidades epistemológicas de una educación científica de calidad para todos y todas y de una formación inicial y continuada del profesorado de ciencias acorde con los requerimientos de esa educación.

Desde el análisis semanticista que hemos emprendido, los modelos científicos resultan ser, por un lado, “fenómenos refinados” (modelos-output) que se asemejan (son aná-

8 Para complementar esta figura, se pueden ver esquematizaciones de los enfoques semanticistas de Suppe, van Fraassen y el estructuralismo metateórico, hechas con fines didácticos, en Ariza (2014).

logos) a los sistemas reales y, por otro, “concreciones de la teoría” (modelos-a-partir-de) que guardan una relación con enunciados científicos muy elaborados. Así, los modelos no son reducibles directamente ni a las formulaciones lingüísticas de las teorías ni al mundo real, lo que les provee de un carácter dual que los sitúa como “mediadores” entre el campo teórico y el campo empírico (cf. Morrison & Morgan 1999; Greca & Moreira 2000; Lombardi 2010).

Estas consideraciones permitirían avanzar en la conciliación de dos enfoques muy tradicionales en la educación científica: el “experimental” –muy difundido en la enseñanza de las ciencias de raigambre anglosajona– y el “teórico” –más asociado a la tradición continental europea–. Así, los modelos científicos reconstruidos en la escuela funcionarían como “alguna cosa que promovería la unión entre la teoría científica y las propiedades inferidas de un sistema” (Eichler 2001: 139; la traducción es nuestra).

BIBLIOGRAFÍA

- Achinstein, P. (1968). *Concepts of science*. Baltimore: Johns Hopkins Press.
- Adúriz-Bravo, A. (2010). Hacia una didáctica de las ciencias experimentales basada en modelos. En Álvarez, L., Rickenmann, R. & Vallès, J. (eds.), *II Congrés Internacional de Didàctiques: Llibre d'actes*, CD-ROM, nº 248, s/pp. Girona: Universitat de Girona.
- Adúriz-Bravo, A. (2011). Concepto de modelo científico: Una mirada epistemológica de su evolución. En Galagovsky, L. (coord.), *Didáctica de las ciencias naturales: El caso de los modelos científicos*, pp. 141-161. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Adúriz-Bravo, A. (2013). A semantic view of scientific models for science education. *Science & Education*, 22(7), 1593-1611.
- Ariza, Y. (2014). *Contribuciones a la didáctica modeloteórica de las ciencias*. Tesis de Maestría. Buenos Aires: Universidad Nacional de Tres de Febrero.
- Ariza, Y. & Adúriz-Bravo, A. (2012). La nueva filosofía de la ciencia y la concepción semanticista de las teorías científicas en la didáctica de las ciencias naturales. *Educación en Ciencias Experimentales y Matemáticas*, 2, 55-66.
- Ariza, Y., Lorenzano, P. & Adúriz-Bravo, A. (2010). Dificultades en la introducción de la “familia semántica” en la didáctica de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 6(1), 59-74.
- Bailer-Jones, D.M. (1999). Tracing the development of models in the philosophy of science. En Magnani, L., Nersessian, N.J. & Thagard, P. (eds). *Model-based reasoning in scientific discovery*. Nueva York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Bailer-Jones, D.M. (2003). When scientific models represent. *International Studies in the Philosophy of Science*, 17, 59-74.
- Balzer, W., Moulines, C.U. & Sneed, J.D. (1987). *An architectonic for science: The structuralist program*. Dordrecht: Reidel.
- Cartwright, N. (1983). *How the laws of physics lie*. Oxford: Clarendon Press.
- Cartwright, N. (1999). *The dappled world*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chamizo, J.A. (2006). Los modelos de la química. *Educación Química*, 17(4), 476-482.
- Chamizo, J.A. (2007). Teaching modern chemistry through ‘recurrent historical teaching models’. *Science & Education*, 16, 197-216.
- Clement, J. (2000). Model Based Learning as a Key Research Area for Science Education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Coll, R.K. & Taylor, I. (2005). The role of models and analogies in science education: Implications from research. *International Journal of Science Education*, 27, 183-198.
- Develaki, M. (2007). The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes. *Science y Education*, 16(7), 725-749.
- Diederich, W. (1996). Structuralism as developed within the model-theoretical approach in the philosophy of science. En Balzer, W. & Moulines, C.U. (eds.). *Structuralist theory of science: Focal issues, new results*, 15-22. Berlín: De Gruyter.
- Díez, J.A. & Moulines, C.U. (1999). *Fundamentos de filosofía de la ciencia*. Barcelona: Ariel. 2ª edición.
- Eichler, M. (2001). Os modelos abstratos na apreensão da realidade química. *Educación Química*, 12(3), 138-148.
- Estany, A. (1993). *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Barcelona: Crítica.
- Falguera, J.L. (1994). Unidad de noción bajo los usos del término “modelo” en las ciencias matemáticas y factuales. *Contextos*, 12(23-24), 221-244.
- Giere, R.N. (1979). *Understanding scientific reasoning*. Nueva York: Holt, Reinhart and Winston.

- Giere, R.N. (1999). *Science without laws*. Chicago: University of Chicago Press.
- Giere, R.N. (1992). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (Original en inglés de 1988).
- Gilbert, J. & Boulter, C. (eds.) (2000). *Developing models in science education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Grandy, R. (2003). What are models and why do we need them? *Science & Education*, 12(8), 773-777.
- Grandy, R. & Duschl, R. (2007). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: Analysis of a Conference. *Science & Education*, 16, 141-166.
- Greca, I.M. & Moreira, M.A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.
- Greca, I.M. & Moreira, M.A. (2002). Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education*, 85(6), 106-121.
- Halloun, I.A. (2007). Mediated modeling in science education. *Science & Education*, 16, 653-697.
- Halloun, I.A. (2004). *Modeling theory in science education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Hesse, M. (1966). *Models and analogies in science*. Notre Dame: University of Notre Dame Press.
- Heywood, D. (2002). The place of analogies in science education. *Cambridge Journal of Education*, 32(2), 233-247.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, 6, 125-138.
- Izquierdo-Aymerich, M. & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Joshua, S. & Dupin, J.J. (2005). *Introducción a la didáctica de las ciencias y la matemática*. Buenos Aires: Colihue. (Original en francés de 1993.)
- Justi, R. & Gilbert, J.K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Koponen, I.T. (2007). Models and modelling in physics education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. *Science & Education*, 16(7-8), 751-773.
- Kuhn, T.S. (1970). Postscript. En *The structure of scientific revolutions*, pp. 174-210. Chicago: University of Chicago Press. 2a edición.
- Lombardi, O. (2010). Los modelos como mediadores entre teoría y realidad. En L. Galagovsky (coord.), *Didáctica de las ciencias naturales: El caso de los modelos científicos*, pp. 83-94. Buenos Aires: Editorial Lugar.
- Lorenzano, P. (2001). La teorización filosófica sobre la ciencia en el siglo XX. *Boletín de la Biblioteca del Congreso de la Nación*, 121, 29-43.
- Lorenzano, P. (2003). ¿Debe ser excluida la concepción estructuralista de las teorías de la familia semantista?: Una crítica a la posición de Frederick Suppe. *Filosofía de la Ciencia e Historia de la Ciencia*, 9(9), 282-290.
- Lorenzano, P. (2011). La teorización filosófica sobre la ciencia en el siglo XX (y lo que va del XXI). *Discusiones Filosóficas*, 12(19), 131-154.
- Matthews, M.R. (ed.) (2014). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*. Dordrecht: Springer.
- Morrison, M.C. (1998). Modelling nature: Between physics and the physical world. *Philosophia Naturalis*, 35, 65-85.
- Morrison, M.C. & Morgan, M.S. (1999). Models as mediating Instruments. En M.S. Morgan & M.C. Morrison (eds). *Models as mediators*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Moulines, C.U. (2011). *El desarrollo moderno de la filosofía de la ciencia (1890-2000)*. México: Instituto de Investigaciones Filosóficas-UNAM. (Original en alemán de 2008.)
- Nersessian, N.J. (1992). How do scientistis think?: Capturing the dynamics of conceptual change in science. En Giere, R. (ed.). *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Minneapolis: University of Minneapolis Press.
- Nersessian, N.J. (1995). Should physicists preach what they practice?: Constructive modeling in doing and learning physics. *Science & Education*, 4(3), 203-226.
- Oh, P.S. & Oh, S.J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.
- Schwarz, C.V. & Gwekwerere, Y.N. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework

- (EIMA) to support pre-service K-8 science teaching. *Science Education*, 91(1), 158-186.
- Sensevy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laubé, S. & Griggs, P. (2008). An epistemological approach to modeling: Cases studies and implications for science teaching. *Science Education*, 92(3), 424-446.
- Sneed, J. (1971). *The logical structure of mathematical physics*. Dordrecht: Reidel.
- Stegmüller, W. (1983). *Estructura y dinámica de teorías*. Barcelona: Ariel. (Original en alemán de 1973.)
- Suppe, F. (ed.) (1979). *La estructura de las teorías científicas*. Madrid: Editora Nacional. (Original en inglés de 1974.)
- Suppes, P. (1961). A comparison of the meaning and uses of models in mathematics and the empirical sciences. En Freudenthal, H. (ed.). *The concept and the role of the models in mathematics and natural and social sciences*. Dordrecht: Reidel Publishing Company.
- Suppes, P. (1967). *Set-theoretical structures in science*. Manuscrito. Stanford: University of Stanford.
- van Fraassen, B. (1980). *The scientific image*. Oxford: Clarendon Press.
- van Fraassen, B. (1989). *Laws and symmetry*. Oxford: Clarendon Press/Oxford University Press.